

g.—Desde el punto de vista didáctico, es más fácil al principio y por tanto más aconsejable proceder desde lo real y concreto hacia lo abstracto que al revés.

Y muchas otras razones relacionadas con la psicología, capacidad, motivaciones y actitud del niño en edad escolar, frente a contenidos inadecuados e incluso contraproducentes.

EXPERIENCIAS

En lugar de nuestro lento y pesado ir y venir a los pesqueros, hay una razón para vivir! Podremos alzarnos sobre nuestra ignorancia, podremos descubrirnos como criaturas de perfección, inteligencia y habilidad. Podremos ser libres! Podremos aprender a volar!

La solución no es fácil, pero tampoco podemos esperar a que llueva alguna respuesta. Durante los últimos años se está produciendo un fenómeno esperanzador: cada vez es mayor el número de Seminarios que intentan coordinar las actividades docentes de la E. G. B. y el Bachillerato en general, y el campo de las Matemáticas en particular adelantándose y quizás forzando la reciente iniciativa oficial.

En la mayoría de estos Seminarios se cuenta con la participación conjunta del profesorado de ambos niveles y a menudo con el apoyo de los distintos I. C. E. S. El plan de trabajo en la mayoría de ellos suele ser el siguiente: se empieza haciendo un estudio exhaustivo de las principales deficiencias que observan los profesores de B. U. P. en los alumnos que vienen de la E. G. B. Es aleccionador observar la similitud de los resultados obtenidos en distintos Seminarios, y la concordancia de criterios al señalar que son una consecuencia lógica de toda esta secuela de errores que se han analizado. Una vez superada esta etapa, se procede a la elaboración conjunta de un programa de conocimientos necesarios, a distintos niveles; al menos dos: básico y deseable, en cada uno de los cursos de la segunda etapa de E. G. B. Se estudia después la metodología y a menudo se programan actividades conjuntas para los alumnos.

Para mayor información sobre este punto, puede leerse la Sección de Notas de la Revista de Bachillerato en su Cuaderno Monográfico n.º 5 dedicado a las Matemáticas.

NOTA: Los textos de comienzo de párrafo, como muchos habrán podido adivinar, corresponden a fragmentos del libro de Richard Bach "Juan Salvador Gaviota".

LA FOTOGRAFÍA COMO PROCESOS FÍSICO QUÍMICO

por JUANA ESTELA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS

INTRODUCCION

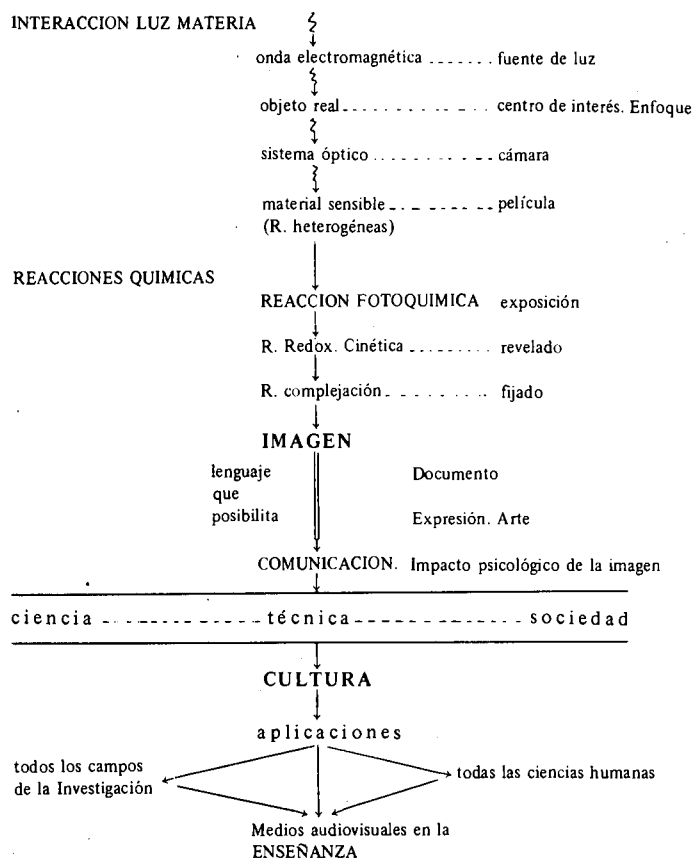
Ahora se habla del medio como recurso y como espacio educativo. Y si por medio entendemos la complejidad de todos los factores naturales, sociales y culturales en continua interacción, hemos de aceptar el reto de la civilización de la imagen. Porque el medio, la cultura, la imagen... no es algo que está ahí, fuera, para ser estudiado, sino algo que nos conforma y sobre lo que podemos actuar.

La fotografía ha sido el centro de interés de los alumnos de 1.º de Química este curso. Reconozco que el tema era para mí desconocido. Y al ponerme en contacto con la bibliografía a la que he podido acceder, al tiempo que me asombraba la complejidad del tema, me sorprendía no encontrar tratado, más que a título de divulgación, el aspecto químico del proceso fotográfico. Nada extraño por otra parte, ya que su comercialización ha dejado silenciada la investigación detrás de cada nueva patente. Esto me motivó a estudiar el tema y ofrecer mi trabajo en una modesta publicación. En este artículo resumo parte de este estudio. No se trata de estudiar el proceso fotográfico sino de resumir, para los alumnos, los estudios que juntos hemos hecho, intentando desvelar sus secretos físico-químicos. Tenemos que agradecer a Margarita Castro que haya puesto a nuestro servicio sus conocimientos sobre el tema y una amplia fuente bibliográfica. Ella y Onofre Siquier han delineado las figuras de esta publicación.

Y en este intento de acercarnos a la fotografía como eje de experiencia didáctica, surge la necesidad de la interdisciplinaridad. Necesaria, dada la complejidad de este fenómeno que expresamos como la civilización de la imagen. En él convergen las investigaciones científicas, los avances técnicos y los factores culturales, entendidos en su amplia significación. Necesaria la interdisciplinaridad, por la intrínseca unidad del hombre que capta esto que llamamos lenguaje total. Dentro del cual la imagen es elemento decisivo.

EJE DE EXPERIENCIA EN CIENCIA INTEGRADOS

El esquema que nos ha servido de base es el siguiente:



En la imagen como lenguaje de la cultura de hoy que posibilita una COMUNICACION, se inertará la fotografía como documento histórico y social, como medio de denuncia y por ello instrumento de cambio, como medio humanizador en su "human interest" de la fotografía live, o como droga al manipular su impacto psicológico en la publicidad...

La fotografía recoge la concepción de una época, su cultura, su filosofía. Interpreta la realidad y la expresa como arte. La imagen es símbolo creado por el artista y recreado por el vidente. Y si la educación es un proceso de comunicación, los medios audiovisuales tienen mucho que decir en pedagogía y en las didácticas especiales.

Dentro de las Ciencias naturales, la fotografía nos acerca la realidad, no sólo para conocerla y transformarla (documento, denuncia), sino también como interpelación a la contemplación, al asombro, a lo lúdico (símbolo)..., tan necesario en esta era de la técnica, de la acción eficaz, de lo útil como criterio decisivo de valor. Si el joven se relaciona con lo real de modo receptivo y activo, en apertura y creatividad, en tensión de inserción y liberación, de cercanía y distancia... habrá que reconquistar la contemplación y el asombro, el ocio y la creatividad, la gratuidad en la relación con el entorno..., para lograr la armonía en la relación hombre-naturaleza y motivar el deseo de penetrar más en su conocimiento. Y si es en la conexión entre motivación y acción donde se inserta la didáctica, el medio se convierte en recurso y en espacio educativo.

Y si la Ciencia no es tanto sus contenidos como su quehacer, la fotografía nos ha acompañado en el aprendizaje de la Química, no sólo como eje de experiencia en la asimilación de conceptos, sino también como guía del Método científico en este esfuerzo de adentrarnos en sus procesos físico-químicos.

Los exponemos en tres grandes apartados: Interacción ondas electromagnéticas con la materia, Reacciones Químicas y Aplicaciones.

Corresponden a las tres puestas en común realizadas. En el primer trimestre, como introducción al estudio del átomo, estudiamos experimentalmente los fenómenos ondulatorios y su interacción con la materia. Visualizamos las ondas longitudinales y transversales, los fenómenos de resonancia, la reflexión y la refracción, la energía que transpor-

ta la onda, el color, —en los fenómenos de absorción-emisión—, producidos en descargas de gases y ensayos a la llama. Ahora, en la puesta en común, se presentan los esquemas de estos fenómenos aplicados al proceso fotográfico.

Los alumnos han realizado las Reacciones Químicas en el laboratorio. En la puesta en común las repiten como experiencia de cátedra, aplicadas al proceso fotográfico. Esta puesta en común intenta recoger en síntesis, la II parte del programa: REACCIONES. Al tiempo, la proyección de clichés y fotografías ilustran un buen proceso químico o un fallo en el laboratorio fotográfico.

Las aplicaciones se documentan con diapositivas ilustrativas. La explicación de estos fenómenos de interacción ondas electromagnéticas-materia, nos desvela la ESTRUCTURA DE LA MATERIA, objetivo de la I parte del programa. El estudio comparativo de los haluros de plata y su aplicación en el proceso fotográfico, es un esbozo de química descriptiva a la que intentamos asomarnos en la 3.ª parte del programa: ELEMENTOS QUIMICOS Y SUS COMPUESTOS. LA QUIMICA AL SERVICIO DE LA SOCIEDAD.

INTERACCION ONDAS ELECTROMAGNETICAS-MATERIA (EXPOSICION)

Si quisiéramos esquematizar todos los fenómenos que intervienen en el proceso por el cual la imagen del objeto real quedará impresa en el material sensible (película), podríamos hacerlo con la figura 1.

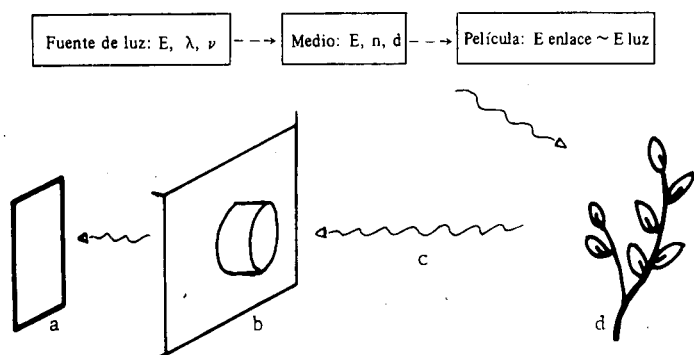


FIGURA 1
Elementos que intervienen en el proceso fotográfico.
a) película; b) cámara; c) luz; d) objeto.

La fuente de luz nos proporciona ondas electromagnéticas determinadas por sus parámetros: E: energía, λ : longitud de onda, ν : frecuencia.

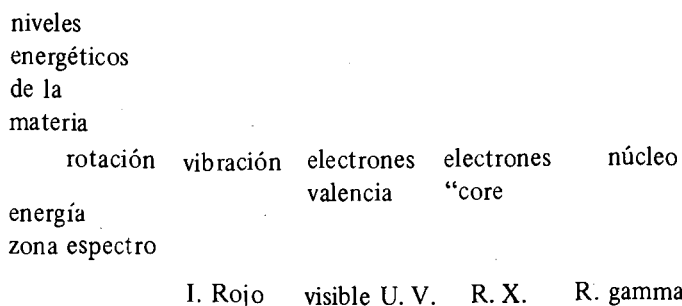
En el medio simbolizamos el recorrido de la luz a través del espacio, la interacción con el objeto y la vuelta, hasta impresionar la película, después de pasar por el sistema óptico (formado por la cámara y sus accesorios: lentes, prismas, filtros...). La materia que compone este medio tiene unos niveles energéticos: E, un tamaño: d mayor o menor, relativo a la longitud de onda incidente, y un índice de refracción n.

Y por último, el material sensible lo será a la luz incidente si la energía de enlace de la sustancia que lo forma es del mismo orden o menor, que la energía de la onda electromagnética.

Es decir, se producirán fenómenos de interacción entre la onda electromagnética y la materia. Simplificados para el objetivo de esta publicación, podríamos clasificarlos atendiendo a los mecanismos que los producen:

A. Mecanismos de Absorción - Emisión:

Se produce absorción cuando la energía de la onda incidente corresponde a la energía de excitación de los posibles niveles energéticos de la materia.



cuando la materia vuelve a su estado normal emite la energía absorbida en forma de calor (Q), radiación electromagnética ($h\nu$) ó Energía química. Queda esquematizado en la fig. 2.

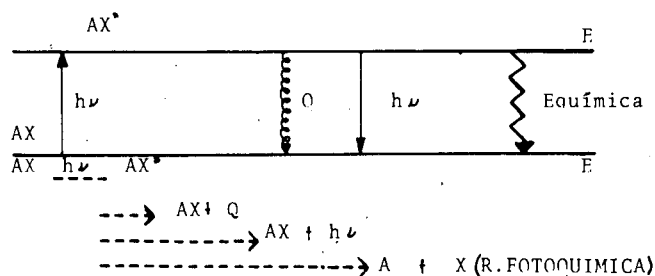


FIGURA 2
Mecanismos de absorción y emisión entre dos niveles energéticos de la materia.

Determinados saltos entre niveles electrónicos de valencia se realizan por absorción de energía en la zona del visible, dando origen al color.

Cuando la radiación lleva una frecuencia correspondiente a un estado energético excitado de vibración de la materia o mayor, puede producirse ruptura de enlace. En este caso se ha producido una Reacción FOTOQUIMICA. Fig. 3.

Para que se produzca una Reacción Fotoquímica en los haluros de plata de la película, se necesita que la radiación incidente sea al menos la correspondiente al color azul (esto explica que las placas antiguas fueran insensibles al color rojo, de menor frecuencia, y en la foto pareciese negro). Ahora se utilizan películas pancromáticas, sensibles también al visible hacia el rojo y al IR cercano. ¿Cuál es el secreto? El descubrimiento de los tintes fotosensibiliza-

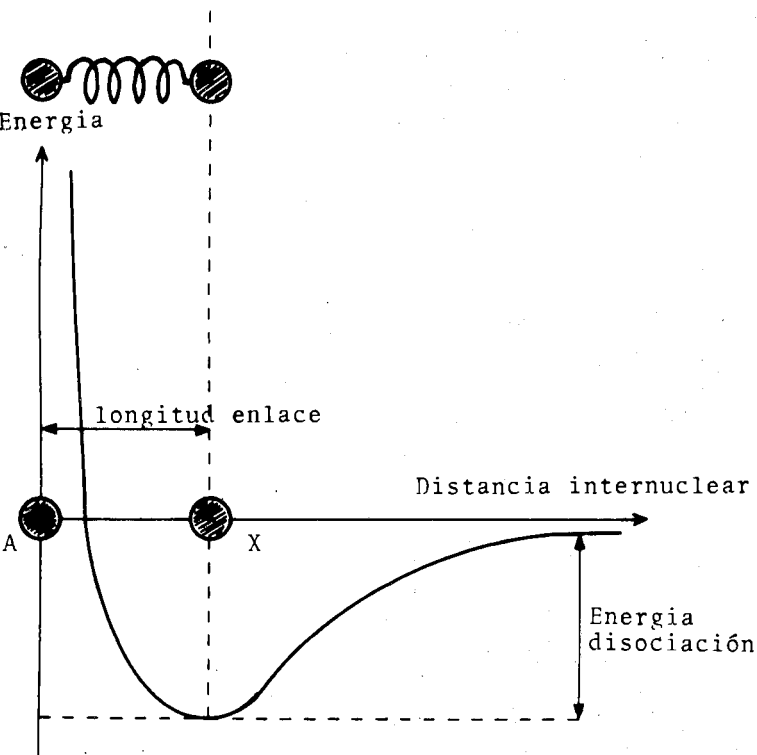


FIGURA 3
Curva de Energía potencial correspondiente a una vibración molecular. Es una oscilación anarmónica. Una gran Energía de vibración puede romper el enlace.

dores. El proceso es el mismo que explica la función clorofílica. Allí el fotosensibilizador es el pigmento verde clorofila, que induce las complicadas reacciones de síntesis de hidratos de carbono a partir de dióxido de carbono y agua. En este caso, el tinte se añade a la emulsión fotográfica acompañada de un dador de electrones. Este tinte absorbe la luz incidente, excitándose, al tiempo que se reduce. El tinte, convertido en poderoso agente reductor, reduce al ión plata del haluro depositando plata metálica al tiempo que él retorna a su estado normal. Fig. 4.

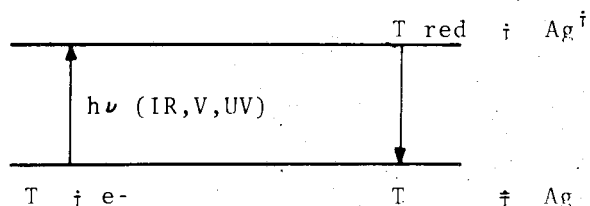


FIGURA 4
El Tinte (T), actúa como fotosensibilizador en la reducción del ión plata o plata metálica.

B. Fenómenos cuya principal manifestación son cambios en la dirección del haz luminoso, con posibles interferencias posteriores entre ellos. Fig. 5.

1. Mecanismo de refracción. Dependiendo de la longitud de onda incidente y del índice de refracción del medio (λ , n).

a. Refracción: al cambiar de medio con diferente índice de refracción (n).

b. Dispersión: dentro del mismo medio, si el haz luminoso no es monocromático (diferentes λ).

2. Mecanismo de Difusión. Depende de la longitud relativa: luz incidente / diámetro de la partícula (λ , d).

a. Reflexión. Superficie pulimentada $d \gg \lambda$

b. Difracción. Superficie rugosa, bordes, rendijas... $d \sim \lambda$

3. Mecanismos de Polarización. Muy complejos. El estado de polarización de la radiación electromagnética es modificado por la interacción con materiales anisótropos o moléculas con estructura química asimétrica.

La polarización queda a su vez afectada por la reflexión y la refracción.

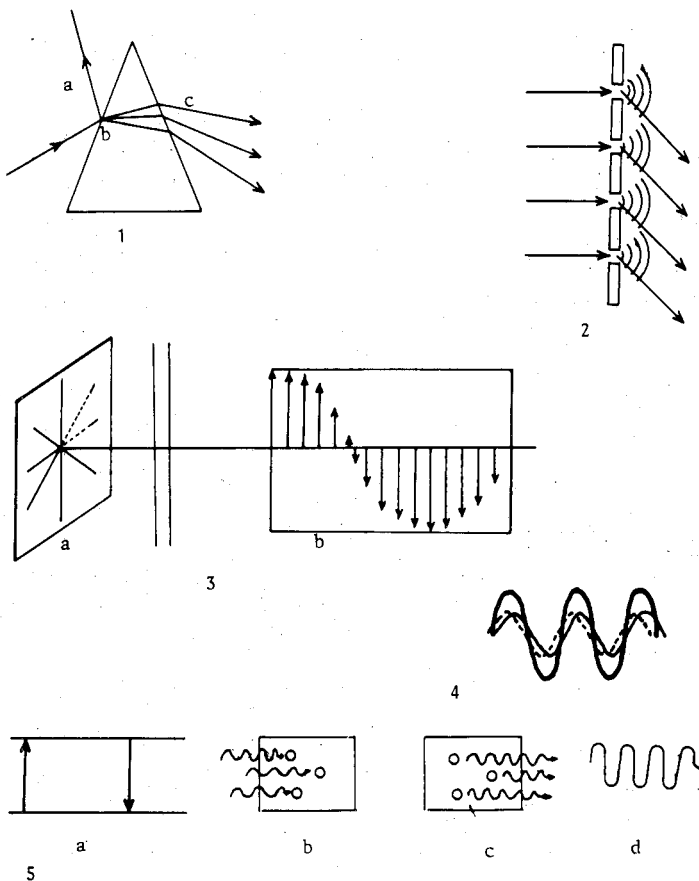


FIGURA 5

1. Prisma a) reflexión; b) refracción; c) dispersión.

2. Red de difracción.

3. a) onda electromagnética con direcciones al azar;

b) onda polarizada vibrando en un plano.

4. Interferencias.

5. Emisión estimulada resultando un rayo de luz coherente y altamente energético.

a) mecanismo de absorción-emisión;

b) absorción por las partículas del material;

c) emisión estimulada; d) rayo laser.

4. Mecanismos de Interferencias entre ondas electro-magnéticas.

a. Difracción, produciéndose interferencias constructivas y destructivas.

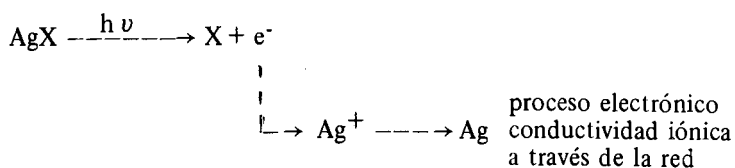
b. Emisión estimulada que produce una onda de luz coherente, amplificada, y altamente energética (Iraaser, Laser, maser... dependiendo de la zona del espectro).

MATERIAL SENSIBLE (PELICULA) Y REACCION DE COMPLEJACION (FIJADO)

Si la fotografía, dicen los autores, es la configuración con la luz, lo fundamental es el material sensible a ella. Posiblemente la mayoría de edad para la fotografía lo marcó el descubrimiento de las capas gelatinosas de bromuro de plata sensibles a la luz (1871). Desde entonces, no sólo fue posible realizar un gran número de fotografías con películas de fácil manejo, sino principalmente de gran sensibilidad. En 1936 se alcanza ya unos 21 DIN.

¿Qué pasa en el material fotográfico desde su interacción con la luz hasta que la imagen formada se hace visible y fija? Es lo que en lenguaje fotográfico corresponde a la exposición de la película, revelado y fijado. Desde el punto de vista científico podríamos simplificarlo de esta forma:

A. Reacción Fotoquímica (realizada durante la exposición de la luz)



El electrón queda atrapado por las impurezas de la red (compuestos orgánicos que producen pequeñas cantidades de sulfuro de plata). Este exceso de cargas atrae a los iones plata de la red cristalina del haluro. La movilidad de estos iones viene facilitada por los defectos reticulares producidos en los procesos térmicos de maduración del cristal. La plata, aunque no es visible, se ha depositado en el interior de la red del haluro. Se dice que este grano (red que forma cada partícula coloidal), se ha sensibilizado por la luz. Y la sensibilización es proporcional a la intensidad de la luz y al tiempo de la exposición. Fig. 6.

B. Reacciones Químicas:

1. Reacción Redox (Revelado)

haluro de plata sensibilizado + reductor \longrightarrow plata metálica
($\text{Ag}^+ \longrightarrow \text{Ag}$)

2. Reacción de complejación (fijado)

haluro de plata no sensibilizado + complejante \longrightarrow disolución

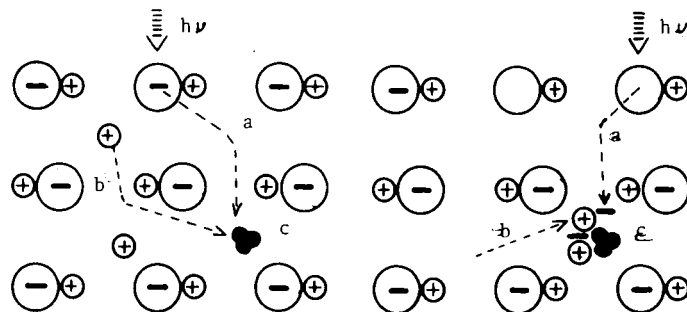


FIGURA 6

Cristal de AgX. La formación de la imagen se inicia al interaccionar un fotón de la radiación con el cristal del haluro.

a) proceso electrónico; b) conductividad iónica;

c) imagen latente formada por la plata depositada sobre la impureza.

Ahora estamos en condiciones de penetrar en el secreto del proceso fotográfico. Se necesita encontrar un compuesto que:

—con la luz dé un producto oscuro, visible. Reacción Fotoquímica.

—con gran superficie de reacción. Esto se consigue con un precipitado coloidal. Las sustancias muy insolubles dan precipitados coloidales.

Estas dos condiciones son fundamentales para la sensibilidad del material.

—que no sea venenoso. Ello complicaría grandemente su manejo.

—que sus gránulos coloidales queden dispersos e inmovilizados. Sólo así se puede conseguir una buena resolución de la imagen.

Esto se ha conseguido con la obtención de una emulsión de haluros de plata dispersos en gelatina sobre película de acetato de celulosa, transparente. Fig. 7. El descubrimiento de este soporte transparente y flexible, marca el comienzo de la popularización de la fotografía.

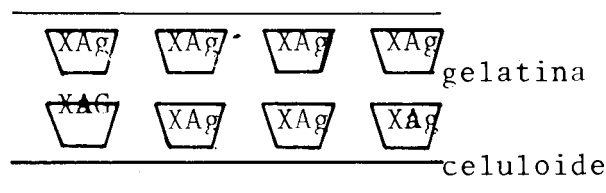


FIGURA 7

Película. Emulsión de haluros de plata dispersos en gelatina sobre soporte de celuloide transparente.

Lo podemos ver experimentalmente comparando el diferente comportamiento de los haluros de plata frente a otros haluros, por ejemplo el de plomo¹. En dos tubos de

¹ Por limitación de espacio, no se expone el procedimiento en los experimentos que se realizan, sólo los resultados perseguidos con ellos. Todos se realizan en tubos de ensayo o sobre papel de filtro. Las disoluciones utilizadas son: para cationes, concentraciones de 10 mg/ml, a partir de sus nitratos. Para aniones, 50 mg/ml, a partir de sus sales alcalinas. Los ácidos y bases diluidos, su concentración es 2 Molar. Los reactivos, reductores o complejantes, en disoluciones saturadas a temperatura ambiente.

ensayo se precipitan los cloruros de plata y plomo respectivamente, a partir de sus nitratos. Se calientan y se exponen a la luz. Se observa que el cloruro de plomo recrystaliza en largas agujas blancas, sin alterarse por la luz. El cloruro de plata forma una dispersión coloidal, blanca, que floclula al calentarla y enegrece lentamente a la luz.

Hemos optado por los haluros de plata, pero ¿qué haluro? Es necesario que cumpla estas tres condiciones: coloide, muy sensible a la luz, que pueda disolverse fácilmente.

El precipitado será tanto más coloide cuánto más insoluble, lo cual dificultará su posterior disolución. ¿Qué haluro es el más coloidal, el más insoluble? Lo puedes ver fácilmente con el siguiente experimento:

En tres tubos de ensayo, conteniendo cada uno de ellos un haluro: cloruro, bromuro y yoduro, añade lentamente una disolución de nitrato de plata. ¿Quién empieza a precipitar antes? Te darás cuenta que es el yoduro de plata. Ahora añade sobre los tres precipitados, poco a poco, una disolución de tiosulfato sódico. ¿Quién se disuelve antes? Comprobarás que es el cloruro de plata. Vamos a explicarlo.

Las propiedades de los halógenos, y por tanto, de los haluros, varían regularmente a lo largo de su grupo en el Sistema Periódico. Veámoslo de forma cualitativa. Fig. 8.

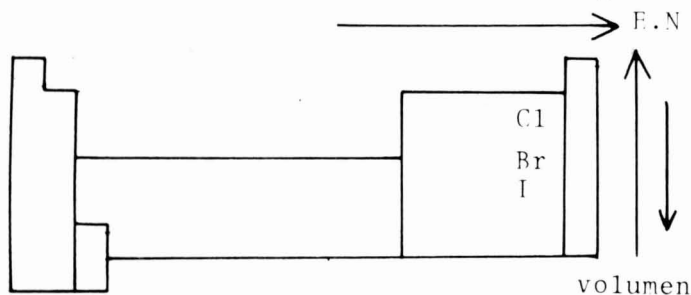


FIGURA 8

Las flechas indican la variación de la Electronegatividad en el Sistema periódico y el aumento de volumen en el periodo de los halógenos.

El tamaño de los halógenos aumenta a medida que descendemos en el grupo. El mayor tamaño corresponde al yodo, y mucho mayor al yoduro, con un electrón en exceso. El yoduro es un anión fácilmente polarizable. El ión plata, con un electrón en defecto, y además, por ser catión de un metal de transición, muy pequeño, ejerce una gran polarización. Por tanto, aumenta la energía de enlace y será el haluro menos soluble. Fig. 9.

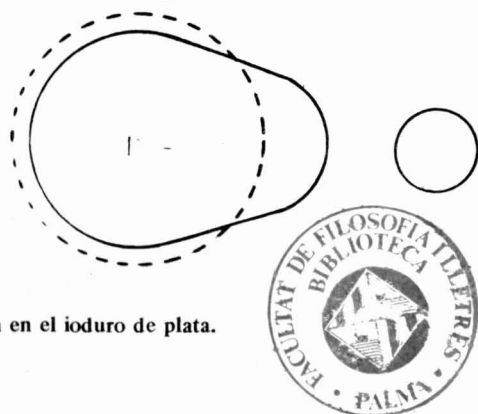


FIGURA 9

Polarización en el yoduro de plata.

De forma cuantitativa queda visualizado en el diagrama de precipitación de los haluros con el ión plata. Fig. 10.

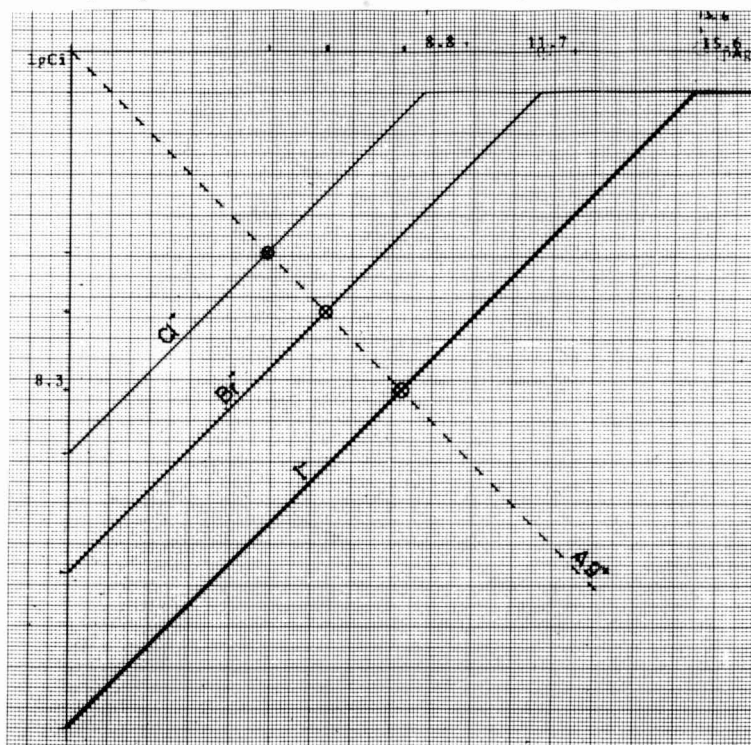


FIGURA 10

Diagrama Precipitación $AgX \downarrow / Ag$

El fijado de la fotografía se explica químicamente por medio de los equilibrios concurrentes: precipitación del ión plata por los distintos haluros y disolución de estos haluros

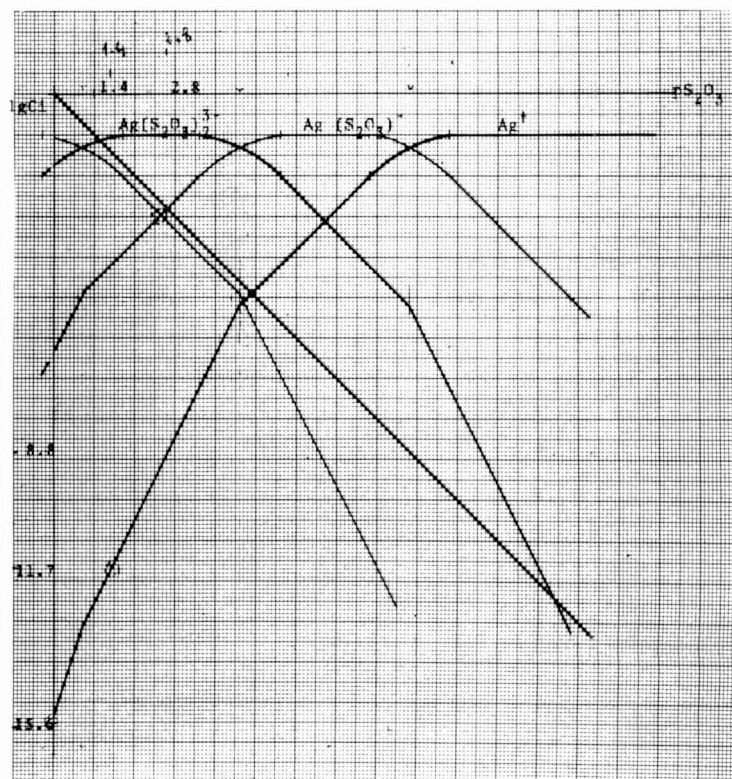


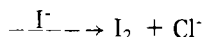
FIGURA 11

Diagrama del sistema complejos plata-tiosulfato/plata.

por complejación de plata con tiosulfato. En la fig. 11 se representa el diagrama del sistema plata-tiosulfato. Para que se disuelva el cloruro de plata (gráfico 10), el ión plata tiene que disminuir hasta $pAg = 8.8$. Si ahora lees esta concentración de ión plata en el gráfico 11, comprobarás que corresponde a $pS_2O_3 = 2.8$. Para que se disuelva el bromuro de plata el ión plata tiene que disminuir hasta un $pAg = 11.7$, que necesita un $pS_2O_3 = 1.4$.

Para disolver el ioduro de plata el ión plata tiene que disminuir a $pAg = 15.6$ que necesita $pS_2O_3 \cong 0$, es decir, una concentración de tiosulfato 1 Molar. En los manuales de fotografía se dice que el fijado necesita realizarse en medio básico. En medio ácido el tiosulfato se dismuta fácilmente dando ión sulfuro y precipitando azufre. El cliché podría quedar sucio del posible sulfuro de plata, negro, y del azufre, coloidal amarillento.

Pero, lo más importante, ¿qué haluro es más sensible a la luz? Se puede comprobar fácilmente precipitando los tres haluros de plata y exponiéndolos a la luz. ¿Qué haluro se oxida más fácilmente? Se puede comprobar añadiendo al CIH contenido en un tubo de ensayo, una pizca de bióxido de manganeso. Se desprende un gas amarillo. Si a la boca del tubo de ensayo se acerca un papel de filtro humedecido con disolución de ioduro potásico, se coloreará fuertemente de rojo pardo. ¿Qué ha sucedido? Las reacciones son las siguientes:



Es decir, el cloro es el más oxidante de los halógenos, y por tanto, el cloruro, el anión más estable. El ioduro en cambio es el menos estable, con lo cual más fácilmente pasará de ioduro a iodo (que es lo que se verifica cuando el ioduro se expone a la luz). Recuerda que la Electronegatividad varía en el Sistema Periódico hacia la derecha y hacia arriba, es decir, es más electronegativo el cloro que el iodo. Por tanto, más estable el cloruro que el ioduro. Fig. 8.

Se comprueba de forma cuantitativa comparando los potenciales redox de los sistemas implicados:

Potenciales normales de reducción

(voltios):	1.36	1.06	0.54	0.79
sistemas	$Cl_2 / 2Cl^-$	$Br_2 / 2Br^-$	$I_2 / 2I^-$	Ag^+ / Ag

Pero los haluros que nosotros estudiamos son los de plata y nos encontramos con la siguiente sorpresa: es mayor el potencial normal del sistema Ag^+/Ag que el del sistema $I_2/2I^-$ y, por tanto, la reacción que se tendría que verificar es $Ag^+ + 2I^- \longrightarrow Ag + I_2$. Sin embargo, se comprueba experimentalmente que precipita el $AgI \downarrow$, es decir: $I^- + Ag^+ \longrightarrow AgI \downarrow$. ¿Cómo es posible? La explicación está en que existen varios equilibrios concurrentes. En el diagrama 10 se lee la concentración de ioduro e ión plata que deja libre el precipitado de $AgI \downarrow$, $[Ag^+] = [I^-] = 10^{-8}$ M. A estas concentraciones, los potenciales no son los normales sino los calculados por la ecuación de Nerst:

$E = E^0 + 0.06 \lg [Ox]/[Red]$, y sustituyendo valores queda, para el sistema de la plata $E = 0.79 + 0.06 \lg 10^{-8} = 0.32$ v, y para el sistema del iodo $E = 0.54 + 0.06/2 \lg 1/10^{-8} = 0.78$ v, con lo cual se hace mayor el potencial del sistema $I_2 / 2I^-$ que el de Ag^+ / Ag y se estabilizan los iones, ioduro y plata. Es decir, aunque el I^- es el haluro más fácilmente oxidable, la Ag^+ lo estabiliza al precipitar $AgI \downarrow$ que es el haluro de plata más insoluble. Esta es la causa de que el $AgCl$ sea el haluro que ennegrece más rápidamente a la luz y que el AgI necesita más tiempo de exposición.

REACCION REDOX (REVELADO)

Ya hemos explicado en que consiste la película fotográfica y por qué se elige el bromuro de plata, haluro con propiedades intermedias entre las opuestas del cloruro y

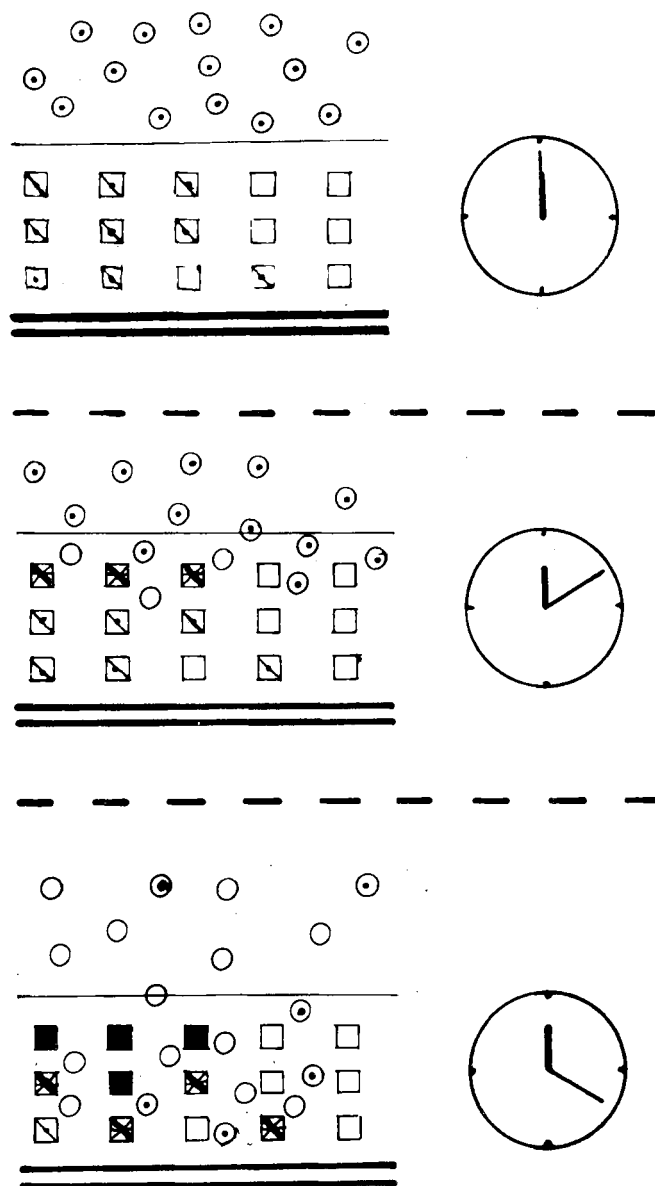


FIGURA 12
Avance de la Reacción Redox hacia el interior de la emulsión, con el tiempo.

ioduro de plata. También hemos explicado el proceso del fijado. Vamos a intentar explicar ahora química del revelado.

El revelado es un proceso redox. Una vez elegido el reductor adecuado, es decir, una sustancia con un potencial capaz de reducir a los iones plata de sus haluros sensibilizados por la luz, y sólo a ellos (termodinámica del proceso), la cinética es la clave para obtener un buen negativo.

Para que se verifique la reacción, los reactivos han de ponerse en contacto. En este caso el haluro, disperso en la capa de gelatina, con el reductor, disuelto en agua. Por tanto, las partículas del reductor han de llegar, a través del disolvente, hasta la superficie de la película. Se dice que la cinética de esta reacción está controlada por difusión. Es decir, la velocidad de la reacción dependerá de la velocidad con que el reductor llega hasta la superficie de reacción. Lo cual viene favorecido por la agitación. Esta es la causa de agitar el cliché durante el revelado. De otra forma, el reductor ya agotado, (que ya ha reaccionado con el haluro, oxidándose), quedaría sobre la superficie, impidiendo el contacto con ella de más reductor. Con el tiempo, el reductor va penetrando lentamente a través de la gelatina, reduciendo todos los granos sensibilizados dispersos en ella. Fig. 12.

Para entender todos los factores que intervienen en la Reacción Redox, hemos de tener en cuenta que los granos de haluro sensibilizados están formados por una red de iones positivos y negativos. Y que el reductor, al menos muchos de los que se usan en fotografía, lleva carga negativa, no sólo en forma de aniones, sino, incluso, por formar su molécula núcleos bencénicos que tienen electrones pi deslocalizados. Por ejemplo, la hidroquinona que es un polifenol. De esta forma, si añadimos algún reactivo con carga negativa, como el KBr que en disolución deja Br^- , este anión se depositará sobre los iones positivos de la red, bloqueando la llegada del reductor a ella. Tendremos un retardador. Al contrario, será un reactivo acelerador una sal que deje iones positivos al disolverse, como las sales orgánicas de amonio cuaternarias, ya que éstos, depositándose sobre las cargas negativas de la red, las apantallan, y posibilitan el acercamiento del reductor. Fig. 13.

Y ¿por qué se realiza la reacción en medio básico? Posibilitamos que el reductor, normalmente un anión, esté en concentración suficiente. Recordemos que en medio ácido estaría en forma protonada.

La cinética de cualquier reacción depende fuertemente de la concentración de reactivos y de la temperatura. Lo cual explica que el tiempo de revelado sea menor cuanto mayor concentración de reductor y mayor temperatura. Atención; No elevar demasiado la temperatura, se puede estropear la gelatina por reblandecimiento. Es un gel con bajo punto de fusión.

Y por último, los humectantes que llevan algunas fórmulas de revelado, no tienen otra función que mejorar el contacto de la gelatina con la disolución del revelador. Es un fenómeno de detergencia.

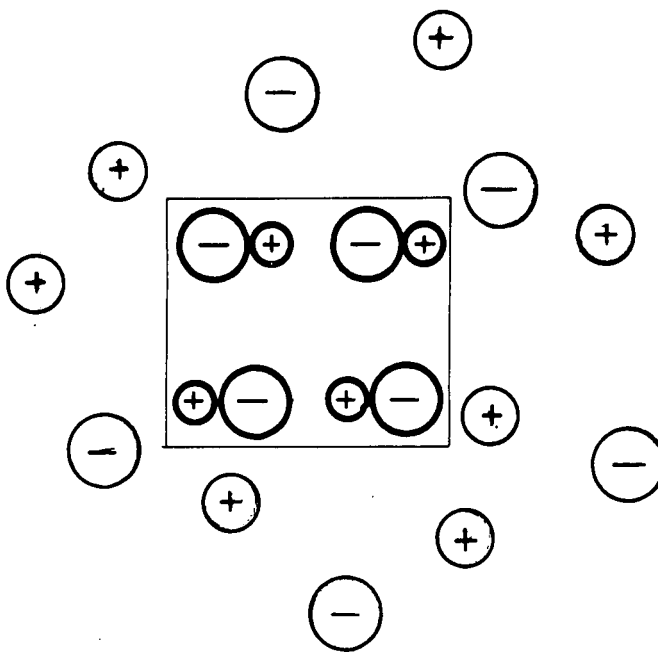


FIGURA 13

Red de haluro de plata, rodeada de iones extraños.

Retardador (-) Acelerador (+)

Aumentan o disminuyen en el periodo de inducción en la reacción redox debido al signo de las cargas en exceso que rodea la red.

La influencia de cada uno de estos factores en la cinética del proceso redox, podemos comprobarla con el siguiente experimento:

Se preparan 6 tubos de ensayo conteniendo, todos, 0.5 ml. de disolución de reductor (se puede usar glucosa, formol o hidroquinona) y se le añade a cada uno de ellos lo siguiente (los números corresponden a cada tubo):

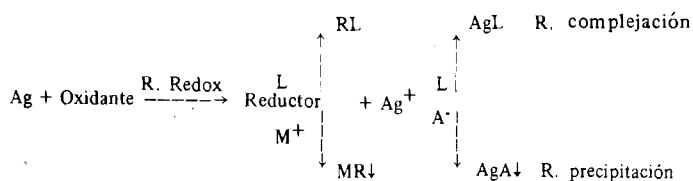
1. Dejar como testigo; 2. 1 ml. de reductor; 3. 1 ml. de carbonato sódico; 4. 1 ml. de bromuro potásico; 5. 1 ml. de nitrato amónico; 6. nada. A todos ellos se le añade 0.5 ml. de cloruro potásico y luego, lo más simultáneamente posible para poder contar tiempos, 0.5 ml. de nitrato de plata. El tubo 6 se calienta. Fig. 14.

Contar el tiempo que tarda cada tubo en ennegrecerse apreciablemente lo mismo. Podrás comprobar que el medio básico, los iones amonio, y sobre todo, la mayor concentración de reductor y la temperatura, disminuyen grandemente el tiempo del revelado. Con todos estos factores se juega para acelerar o retardar el proceso de revelado. Y una vez elegida la fórmula de revelado, es esencial el tiempo para conseguir un buen negativo. Aquí está el reto para los buenos fotógrafos.

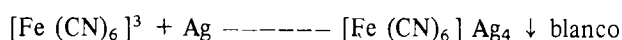
En todas las técnicas fotográficas en que se revela y se fija en un solo baño (por ejemplo, en la técnica polaroid, y en todas las fotografías que se obtienen en minutos), la cinética juega un papel esencial. La reacción redox tiene que ser tan rápida que termine antes de empezar la disolución de los haluros no sensibilizados por el tiosulfato (fijador).

Muchas veces conviene blanquear el negativo, bien porque ha salido demasiado oscuro, bien antes de la técnica

del virado. El blanqueado no es más que la oxidación de la plata depositada en el cliché a ión plata. Se realiza entre la operación del revelado y la del fijado. Y se consigue con ayuda de equilibrios concurrentes, es decir, forzando la reacción redox con otros equilibrios que disminuyan las concentraciones de los productos. El esquema sería:



Un blanqueador muy utilizado en fotografía es el ferricianuro potásico. Puedes comprobarlo añadiendo una pizca de este reactivo sólido sobre plata en polvo o sobre un papel fotográfico revelado sin fijar. La reacción que se verifica es:



Si comparas los potenciales normales de los sistemas ferri/ferro y Ag^+/Ag verás que el ferricianuro no podría oxidar a la plata. Si lo hace es porque su forma reducida, el ferrocianuro, forma un precipitado con la plata muy insoluble, disminuyendo grandemente su concentración, forzando a la reacción redox a verificarse. El cambio de potencial para el sistema de la plata vendría dado cuantitativamente por (aplicando la ecuación de Nerst, teniendo en cuenta la reacción de precipitación):

$$E = 0.78 + 0.06 (-\text{Ps} - \text{pA}), \text{ siendo Ps} = 40.8 \text{ para } [\text{Fe}(\text{CN})_6] \text{Ag} \downarrow$$

$$\text{pA} = -\lg [\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}]$$

DETECCION Y RECUPERACION DE LA PLATA DEL BAÑO FIJADOR

Ya hemos visto, que para disolver los haluros de plata no sensibilizados, se necesita una gran concentración de tiosulfato. Y su concentración va disminuyendo (gastándose), a medida que reacciona con el ión plata, formando el complejo. ¿Cómo sabremos que ya está gastado el fijador? El complejo $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_3^{2-}$. Deja poca cantidad de ión plata libre ($\text{Ag}^+ = 10^{-9.2} \text{ M}$), según gráfico 10, luego si el baño nos da positiva alguna reacción característica de Ag^+ será señal que el fijador no compleja ya a la plata. Una de ellas es añadir al baño 0.5 ml. de disolución de SNa_2 que nos dará un color negro de $\text{SAg}_2 \downarrow$. También puedes introducir un hilo de cobre. Si se blanquea es por la reacción: $\text{Ag}^+ + \text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{Ag}$, compruébalo con los potenciales de los sistemas implicados.

La recuperación de la plata del baño fijador interesa cuando resulta económicamente rentable (fotógrafos profesionales). Una forma sencilla es añadiendo polvo de cinc. El cinc, muy reductor, reducirá fácilmente a la plata. Mejor en polvo, por presentar mayor superficie de reacción. $\text{Ag}^+ + \text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Ag}$. También se puede realizar una electrolisis. Se utilizan electrodos de grafito. Como fuente de energía: corriente continua ó bien pilas de 6 voltios. En el cátodo se depositará la plata metálica.

APLICACIONES

Si en la historia de la fotografía queda comprobado la interacción Ciencia-Técnica-Sociedad, aún se manifiesta más en sus aplicaciones.

Lo mismo la fotografía como expresión artística que sus aplicaciones en todas las investigaciones científicas, no hacen más que jugar con estos procesos físico-químicos que apenas han quedado esbozados anteriormente. Procesos, que, a su vez, van perfeccionándose al tiempo que avanza la Ciencia.

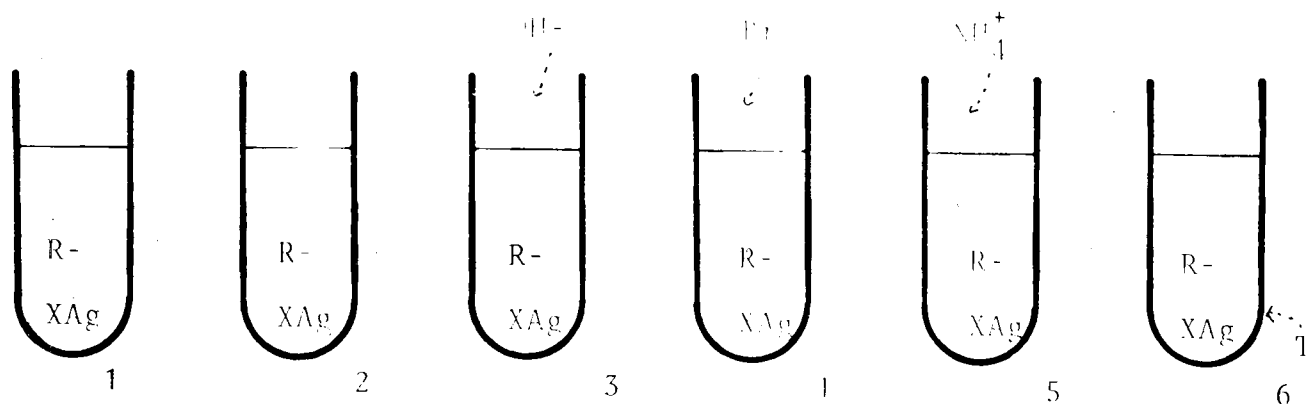


FIGURA 14

Cinética de reacción. Influencia de los factores:

1) testigo; 2) mayor concentración de reductor; 3) medio básico;

30 4) retardador; 5) acelerador; 6) energía de activación.

No es nuestro propósito dar una larga lista de sus aplicaciones que, por otra parte, nunca podría ser exhaustiva. Elegimos las que nos parecen más significativas, intentando abrir una panorámica.

Sistema óptico: cámara y accesorios.

Desde principios de siglo, el desarrollo de la óptica permite la construcción técnica de cámaras ligeras, provistas de objetivos de gran nitidez y luminosidad y a la que, en el transcurso del tiempo, se le siguen adicionando accesorios que harán posible manipular el rayo de luz, concentrarlo, descomponerlo, distorsionarlo, eliminarlo o intensificarlo, ampliar la imagen o reducirla... Aquí cabría citar toda la historia de la fotografía como arte intentando, con el rayo de luz como pincel, expresar las corrientes artísticas de la época. Y viceversa, obtener imágenes fotográficas, base para la investigación de la estructura de la materia ya que es esta es la causa de los fenómenos que sufre el rayo de luz al interaccionar con ella. Por citar alguno, además del conocido de la difracción de R. X. para la investigación de estructuras cristalinas, los fenómenos de polarización al pasar la luz por materiales sometidos a una gran tensión. De gran interés en estudios arquitectónicos y de cualquier infraestructura. O los estudios de las ondas de choque producidas por un proyectil, las turbulencias de una llama o la fotografía submarina, en cuya base está el fenómeno de la refracción y dispersión al atravesar el rayo de luz densidades diferentes.

Material sensible

Gracias a la sensibilidad del material fotográfico se ha podido registrar la constitución de galaxias, como la andrómeda, cuyo estudio, a base de fotografías, está arrojando datos sobre la génesis del universo.

En la investigación física y biológica es importantísimo el estudio del movimiento. Su registro sólo es posible por materiales muy sensibles que requieran un tiempo mínimo de exposición a la luz. Se ha logrado el análisis del movimiento por exposición múltiple. La fotografía recoge la posición del móvil a intervalos mínimos y regulares en el tiempo. Así, una pelota botando, en la cual se puede estudiar el perfil de máximos y mínimos correspondientes a la energía cinética y potencial. O la caída de una gota de leche sobre una superficie líquida, en la que se puede analizar el fenómeno de la tensión superficial.

Y es aquí donde se juegan las posibilidades futuras, y donde la investigación sigue abierta en busca de materiales más sensibles, no sólo a la intensidad del rayo luminoso y a tiempo menor de exposición, sino principalmente a la frecuencia de la luz en una mayor amplitud del espectro. Cuando se consiga material sensible a las longitudes de onda más largas se conseguirá registrar cosas tan inauditas como las personas ya ausentes que estuvieron en una reunión (calor: I. R.), o música (sonido: microondas). (Ahora se realiza transformando el impulso calórico o sono-

ro en impulso eléctrico y luminoso. En medicina la termografía permite diferenciar zonas de diferentes temperaturas). No entramos en otros tipos de material sensible. Como el conocido desde el origen de la fotografía: la impresión tridimensional de la luz en diferentes tipos de gelatinas y sustancias que sufren polimerización al ser catalizadas por la luz.

Fuente de luz

Ya hemos dicho que el material fotográfico es sensible a ondas electromagnéticas cuya frecuencia es mayor que la necesaria para romper sus enlaces químicos.

Lo que en la "jerga" popular llamamos luz, son ondas electromagnéticas correspondientes a la zona del espectro visible. Es la fuente de luz en las fotografías normales que utilizan la luz del sol o de fuentes luminosas artificiales. Pero hay técnicas fotográficas que emplean ondas correspondientes a otras zonas del espectro: desde el IR cercano a R. gamma. (No nos detenemos en otras técnicas que no utilizan ondas sino iones incidiendo en pantallas fluorescentes que luego se fotografían, o la neutrografía).

Nos detenemos, por su relativa novedad, en la técnica scanner. Su autor recibió el Premio Nobel de 1979, aunque ya lleva una década empleándose en medicina. Se emplean R. X. y se llama también tomografía axial ya que es la misma técnica de la tomografía pero realizada integrando la imagen con puntos de distinta intensidad lumínica mediante el uso de computadoras. Esto permite obtener imágenes de gran contraste y nitidez. Se obtienen placas fotográficas correspondientes a distintos planos del cuerpo humano. La computadora selecciona los planos a la distancia elegida y en el eje que se quiera, obteniéndose diferentes densidades (sales cálcicas: huesos; agua o sangre: derrames; grasa: lipomas; aire: pulmones... incluso diferentes densidades de tejidos por los que se distinguen los sanos de sus alteraciones neoplásicas). El contraste y nitidez de la imagen se consigue haciendo funcionar unos u otros de los numerosos tubos productores de R. X. y enfocándolos de forma adecuada para lograr interferencias destructivas que anulen los planos no enfocados. Es el mismo fundamento, aunque la técnica es más sencilla, que utilizan en los aparatos que investigan nuestros equipajes en el aeropuerto. Y por citar otra fuente correspondiente a energías menores que la visible, la fotografía con I. R. cercano. Sus aplicaciones son inmensas. Podríamos citar, dentro de la ecología, su uso para descubrir plantas enfermas en zonas de vegetación, o polución de aguas. La materia orgánica en descomposición produce gran cantidad de gases. Sus moléculas, si presentan momento dipolar, pueden interaccionar con las ondas I. R. absorbiendo su energía y pasando a un estado excitado de rotación. En cambio, las grandes moléculas que componen la materia viva, no pueden rotar por lo cual no absorben esta radiación sino que la reflejan. Por otra parte, el pigmento clorofila absorbe la luz correspondiente al azul y al rojo lejano. Reflejan el resto de la luz resultando su conocido color verde. En espionaje esta técnica descubre la vegetación viva del camuflaje conseguido con ramas cortadas.

Luz lasser

Allà, per la dècada de los 50 y 60, se conecia ya la teoria de la luz coherente, pero aún entraba dentro de la ciencia-ficció sus enormes posibilidades si se lograba superar los aspectos técnicos necesarios para producirlo y manipularlo.

Los físicos no dudan en afirmar que su descubrimiento divide en dos épocas a la óptica.

Este rayo, de luz coherente, es por ello, finísimo, dirigible, altamente energético y de extraordinaria sensibilidad a cualquier perturbación.

En fotografía, aparte de su conocidísima utilización en holografía tridimensional, podemos citar, por la fascinante extrañeza que origina, la transcripción gráfica de la música mediante la interacción de estas ondas armónicas con la onda coherente del rayo lasser. La luz vibra al compás de la música formando fantásticas figuras, que pueden recogerse sobre emulsión sensible. Si se manipula el rayo a través de sistemas ópticos (prismas, lentes, rejillas de difracción...), las imágenes conseguidas son alucinantes. También se pueden obtener extrañas figuras de interferencia cuando un rayo laser cruza un material plástico, fundiéndolo. Las interferencias se producen al originarse la refracción del rayo por la diferente densidad entre el material sólido y el fundido.

BIBLIOGRAFIA

El revelado. Ed. Omega.

Equipo editorial libros "Time-Life", Ed. Salvat, Barcelona:

Tomo I. *La cámara fotográfica*.

Tomo II. *Luz y película*.

Tomo III. *El laboratorio*.

Historia de la fotografía en el siglo XX. De la fotografía artística al periodismo gráfico. Colección "Comunicación visual". Ed. Gustavo Gili.

Revista *Investigación y Ciencia*, marzo 1981:

NASSAU. *Las causas del color*.

WALKER. *Exhibiciones con lasser*.

Revista *Mundo científico* n.º 1:

HENRY. *Las redes de color*.

CHARLOT. *Química Analítica*. Tomos I y III. Ed. Toray-Masson.

G. RIOS. *Química Inorgánica*. Ed. Reverté.

FINN. *Física volumen II, "Campos y Ondas"*.

1 INTRODUCCIÓ

Els mars han estat considerats des de sempre com abocadors naturals, degut al fet que l'aigua és un excel·lent dissolvent, i a més posseeix una gran capacitat de depuració, per l'acció d'alguns microorganismes que hi habiten.

Aquests organismes tenen la facultat de descompondre, amb l'ajuda de l'oxigen, moltes de les complexes substàncies orgàniques, originant-ne d'altres més senzilles que poden tornar a ésser utilitzades pels éssers vius. Aquestes substàncies orgàniques que poden ésser dissoltes d'aquesta manera, es diu que són biodegradables. No obstant això, quan els abocats d'aigües pol·lucionants augmenten sensiblement, s'acaba la capacitat dissolvent i depuradora, esgotant-se l'oxigen necessari per la biodegradació i originant-se putrefaccions perjudicials.

Les aigües del port de Maó reberen fins l'any 1980, els abocats dels nuclis urbans situats en el seu entorn, però des d'aquesta data foren eliminats puix que varen ser connectats a un emissari submarí que les treu defora del port.

Per totes aquestes raons anteriors, l'estudi ecològic del port de Maó ofereix un gran interès didàctic, puix que constitueix un exemple molt proper de la degradació d'un ecosistema equilibrat, com a conseqüència de la contaminació originada pels abocats d'aigües residuals urbanes, i també de les possibilitats que té de restablir de nou l'equilibri, una vegada que els abocats foren suprimits.